

强矿震预测的研究

李铁^{1,2)} 蔡美峰¹⁾ 纪洪广¹⁾ 李世愚³⁾ 和雪松³⁾

1)北京科技大学土木与环境工程学院,北京 100083 2)抚顺市地震局,抚顺 113006 3)中国地震局地球物理研究所,北京 100081

摘要 基于中尺度地震实验场高密度数字地震和潮汐形变台网的现场观测,用地震学方法和小波工具分析强矿震过程采集到的数据,发现震前短临阶段存在可信的 b 值、 η 值、频度等地震学异常和定点潮汐形变前兆异常.对异常信息的提取方法和强矿震短临阶段的预测进行了探讨.

关键词 中尺度实验场;强矿震;地震学异常;潮汐形变异常;预测

分类号 P 315.5

迄今为止,煤矿开采诱发地震(简称矿震)见诸报道的最高震级为波兰 Belchatow 煤矿的 $M_L=4.6$ ^[1],国内最高为辽宁北票台吉煤矿的 $M_L=4.3$ ^[2].但由于震源浅,一般1 km,4级左右矿震极震区烈度可达7度,引起地表强烈地震动,造成较严重的灾害^[2-4].我国很多矿区由矿兴城,形成矿区周边人员和社会财富的聚集,随着浅部资源枯竭,煤矿陆续进入深部开采,诱发破坏性矿震的条件更趋成熟,因此预测研究的意义重大.

在国家自然科学基金的支持下,以有高发矿震背景的抚顺老虎台煤矿为基地,布设小孔径、高密度数字地震监测台阵和数字地震前兆监测手段,建成中尺度地震实验场,其间观测到两次分别为 $M_L=3.6$ 和 $M_L=3.7$ 的较强矿震.本项工作的目标是期待通过这两个震例的总结,探索对更强矿震短临阶段的预测,并发现信度较高的震前异常.

1 地震发生及监测研究

地震实验场布设9个数字子台构成的地震监测台阵,使用JC-V100和JC-V104速度平坦型地震计,采样率分别为 50 s^{-1} 和 100 s^{-1} ,频带范围1~20 Hz, GPS授时,数据实时传输.距矿震震中区

收稿日期:2004-04-06 修回日期:2004-09-20

基金项目:国家自然科学基金(No.40244021);辽宁省科学技术计划(No.2003231003);科技部科研院所社会公益研究专项资金(No.2001DIB20107)

作者简介:李铁(1962—),男,高级工程师,博士

西北方向5 km处的数字DSQ水管倾斜仪和SS-Y伸缩仪,基线长度31 m,在顶、侧覆盖层厚度均大于30 m,深100 m处的前震旦系混合岩洞体内同一岩墩上沿北南和东西方向正交布设,数据采样率 1 min^{-1} ,设备工作周期74 s.本文采用的资料全部由上述设备产出,数据质量高,且连续、完整、可靠.

两次强矿震事件分别发生在2001年10月17日和2002年1月26日.为避免断章取意,地震资料时段选取的原则为包含该两次矿震并适当向两侧延伸的全部连续资料,即2001年8月1日~2002年2月28日连续212 d的 $M_L \geq 0$ 的5221次矿震事件,平均24.6次/d.前兆数据的分析也选取相同时段,但限于篇幅不能全部展示,只截选异常至发震并适当向两侧延伸的时段.

地震数据用CAPSeis2.0, Mapseis2.0地震分析软件,前兆数据用Matlab6.5的小波工具进行分析处理.矿震集中发生在开采区周围,视为空间位置不变,前兆测项为定点潮汐形变,因此只分析它们在时间域的分布特征.

2 抚顺老虎台矿震概况

抚顺老虎台煤矿有百年井工开采历史,1998年进入地表以下760 m深度后,矿震活动水平明显增加,最高水平 $M_L \geq 0$ 的矿震7223次/a, $M_L \geq 3.0$ 的矿震21次/a,最高震级 $M_L=3.7$ (图1和图2),目前进入地表以下910 m深部开采.

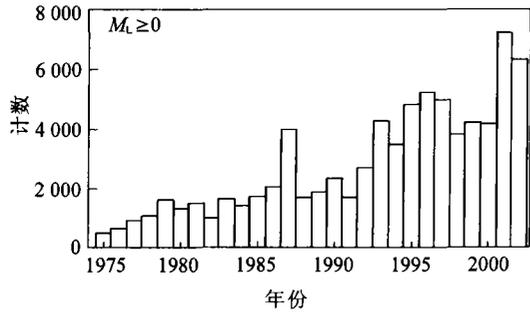


图1 抚顺矿震 $M_L \geq 0$ 年度频次分布

Fig.1 Frequency distribution of Fushun mining-induced earthquake

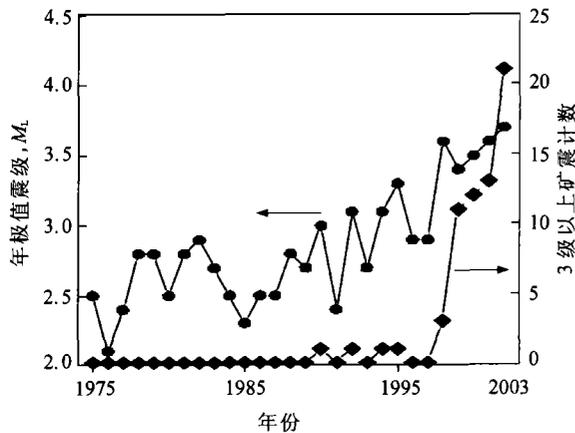


图2 抚顺强矿震年度分布

Fig.2 Year distribution of Fushun strong mining-induced earthquake

3 强矿震前的异常信息

3.1 地震学异常信息

(1) b 值异常. Gutenberg 和 Richter 研究得出天然地震震级和频度对数的关系为:

$$\lg N = a - bM \quad (1)$$

式中, N 是震级为 M 的地震数目, a, b 为参数. 在天然地震中, b 值反映一定地区、一定时间段大小地震数的比例关系. 许多观测表明, 开采诱发的地震事件与天然地震遵循同样的规则^[1].

岩石破裂实验证实, b 值约为分形维数 D 的 $1/2$, 岩石破裂前有降维现象^[5].

用最小二乘法, 选取不同时间窗和步长, 对连续完整的矿震资料扫描. 经反复筛选, 用 10d 时间窗, 1d 滑动步长, 起算震级 0, 震级增量 0.1 进行的滑动扫描结果, 显示出强矿震发生在低 b 值区或 b 值由高向低的转折处(图 3).

(2) η 值异常. 式(1)震级和频度的对数为线性关系, 但有些情况拟合直线并不理想, 而呈两端偏离下弯的曲线形态, 宇津德治提出了 G-R 修正式, 并定义了 η 值, 将其作为度量震级—频度对数

曲线与 G-R 直线偏离程度的一种指标. 在同一时段, 用与 3.1(1) 相同的参数滑动扫描, 显示出强矿震发生在低 η 值区(图 4).

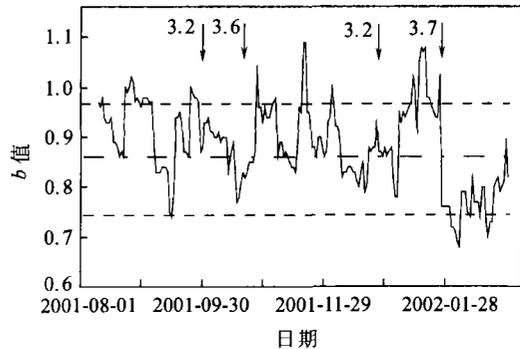


图3 b 值分布图

Fig.3 Distribution curve of b value

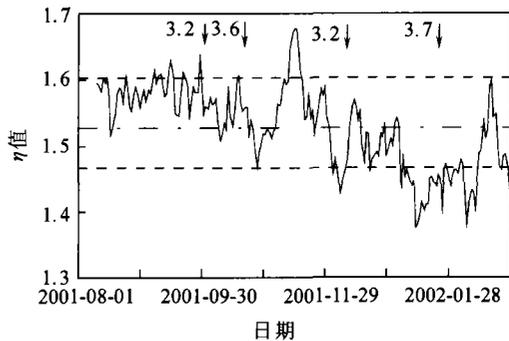


图4 η 值分布图

Fig.4 Distribution curve of η value

(3) 地震活动异常. 天然地震大震前, 在平静的背景下, 有小震密集—平静—大震发生的现象, 这与实验室内岩石受压破坏的过程和机理是一致的. 老虎台矿因为小级别矿震的背景值较高, 因此小震丛集情况常淹没在背景值下, 但较大级别矿震前, 小震的短期平静现象却常可发现. 这两次强矿震前, 小震活动分别相对平静了 23 和 32 d(图 5 和图 6).

3.2 定点潮汐形变前兆异常信息

数字水管倾斜仪和伸缩仪在两次强矿震前均表现为分钟值曲线固体潮形态畸变和相对高频成分增多(图 7). 该设备对强远地震有数十分钟、对强矿震有瞬间同震响应, 主要表现为掉格或突跳, 而 3.0 级以下矿震没有同震响应, 经核查, 这期间也没有风和降水等干扰.

用一维小波变换工具提取曲线中异常的高频部分. 小波分析中的尺度越大, 意味着小波函数在时间上越长, 频率的分辨率越低, 主要获取的是信号的低频部分; 换言之, 被滤掉的高通部分信息越丰富. 由于所期待获得的不是高通部分

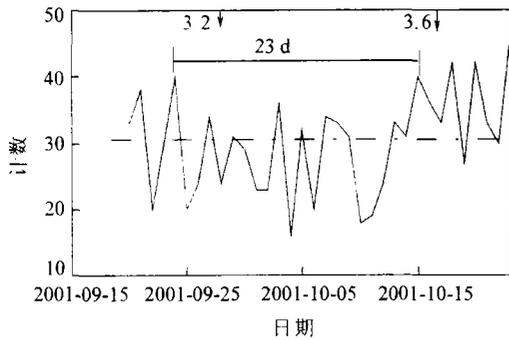


图5 2001年3.6级矿震前日频度
Fig.5 Day frequency before the mining-induced earthquake of $M_L = 3.6$ in 2001

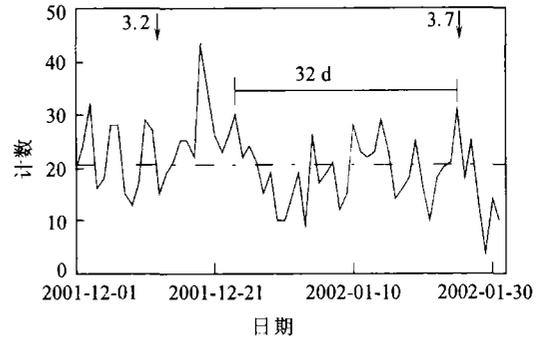


图6 2002年3.7级矿震前日频度
Fig.6 Day frequency before the mining-induced earthquake of $M_L = 3.7$ in 2002

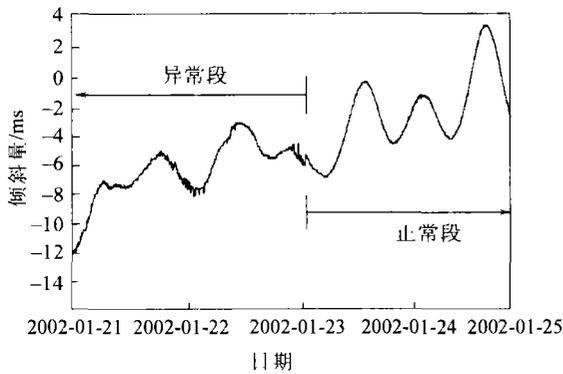


图7 典型段曲线图
Fig.7 Representative segment of the curve

的所有信息,而只是异常部分,因此选择了单一尺度.通过对各小波基函数的尝试,symlets2函数的效果相对更好些.原始数据只对掉格和突跳进行了处理.小波变换滤出的高通信息显示,两次强矿震前两个形变测项的各自两个分量曲线都存在明显的高频异常信息, $M_L=3.6$ 矿震震前8~11d出现异常,持续4~7d,恢复正常4~8d后发震; $M_L=3.7$ 矿震震前6~10d出现异常,持续2~7d,恢复正常4~5d后发震(图8~11,篇幅所限,选用8张图的其中4张).

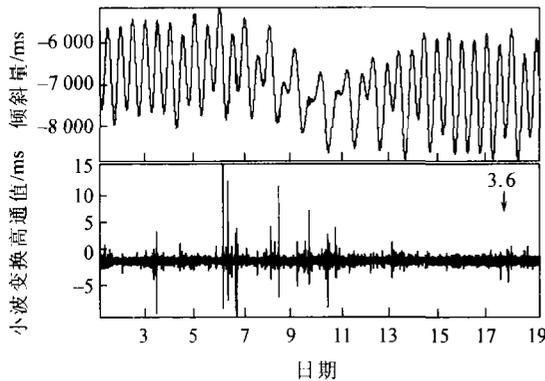


图8 2001年10月水管仪东西向分钟值曲线图

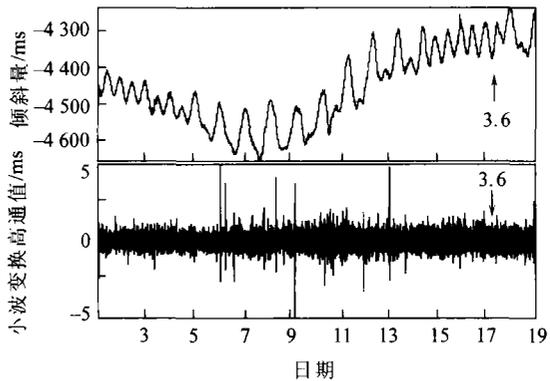


图9 2001年10月伸缩仪东西向分钟值曲线图

Fig.8 Minute value curve of the water tube tiltmeter EW in Oct, 2001

Fig.9 Minute value curve of the tensometer EW in Oct, 2001

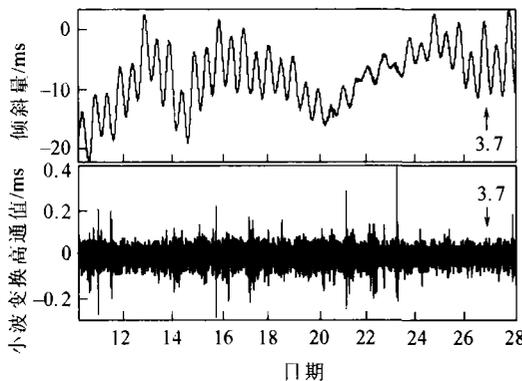


图10 2002年1月水管仪北南向分钟值曲线图

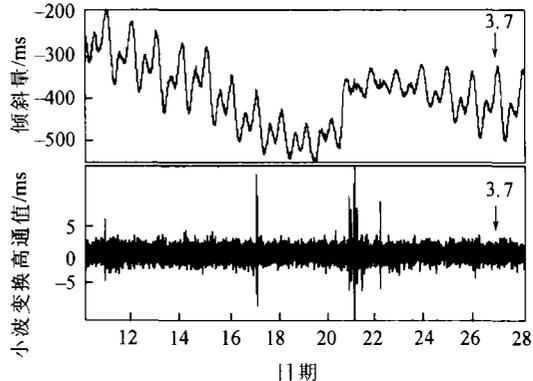


图11 2002年1月伸缩仪北南向分钟值曲线图

Fig.10 Minute value curve of the water tube tiltmeter NS in Jan, 2002

Fig.11 Minute value curve of the tensometer NS in Jan, 2002

4 结论

(1) b 值, η 值扫描显示, 强矿震事件发生在低值异常区, 对强矿震具有较明显的预测意义, b 值降低机理上相当于岩石破裂前的降维. 扫描的关键是选择合适的时间窗和滑动步长, 根据矿震的活动水平, 保证足够的矿震数目.

(2) 强矿震前, 矿震总体活动水平偏低. 笔者对全部观测资料的分析也发现, 3.0级以上矿震前, 小震平静现象比较普遍.

(3) 定点潮汐形变异常不是统计学意义上的异常, 主要表现在固体潮形态畸变和曲线上相对高频成分增多, 因此更为直观和可信. 现有的震例显示, 恢复正常后不会立刻发生强矿震, 给预测预报工作留出了一定的时间.

(4) 地震学观测技术和分析方法同样适用于强矿震的预测; 小波变换对前兆短临信号时频分析比较实用, 重要的是选择适合的小波基函数和

尺度.

(5) 本项工作没有发现趋势异常, 可能与矿震强度小、震源深度浅 (震源深度分别为 900 和 1000m)、孕震时间短有关, 提取到的均属短期和临震异常信息, 这对矿震的预测更具意义.

参考文献

- [1] Slawomir J G, Andrzej K. 矿山地震学引论. 北京: 地震出版社, 1998
- [2] 董瑞树, 许世杰. 浅谈矿震灾害——以台吉煤矿为例. 灾害学, 1990(1): 65
- [3] 张秀兰, 李卫, 许长江. 京西矿震活动特征及其与天然地震关系初探. 国际地震动态, 1998 (1): 14
- [4] 吴淑才, 覃子建. 贵州矿山地震活动浅析. 贵州地质, 1996, 13(3): 287
- [5] 朱令人, 陈颀. 地震分形. 北京: 地震出版社, 2000
- [6] 李世愚, 唐林波, 刘建新, 等. 地震前低频事件的实验研究. 地震地磁观测与研究, 2002, 23(4): 1
- [7] 郝锦琦, 钱书清, 高金田, 等. 岩石破裂过程的超低频电磁异常. 地震学报, 2003, 25 (1): 102

Study on forecating strong mining-induced earthquake

LI Tie^{1,2}, CAI Meifeng¹, JI Hongguang¹, LI Shiyu³, HE Xuesong³

1) Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2) Seismological Bureau of Fushun City, Fushun 113006, China

3) Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China

ABSTRACT Based on field observations of the high-density digital seismograph and tidal deformation network of a meso-scale seismological experimental site, the data of strong mining-induced earthquake process were analyzed by the seismological method and wavelet tool. Believable b values and η values were tested, and frequency seismological anomalies and fixed point tidal deformation anomalies were found before strong mining-induced earthquake in the short-term and impending stages. The extraction method of anomalous information and the forecast of strong mining-induced earthquake in the short-term and impending stages were discussed.

KEY WORDS meso-scale experimental site; strong mining-induced earthquake; seismological anomaly; tidal deformation anomaly; forecast